

DECOUVERTE DE LA SPECTROSCOPIE POUR L'ETUDE DE L'ESPACE ET DES PLANETES

PROJET DE COMMUNICATION SCIENTIFIQUE,
2021-2022

BAIJOT Cédric, CHEVELEV Andreï, DEBRUYNE Romain & VORONKIN Anton

Encadrés par VAECK Nathalie

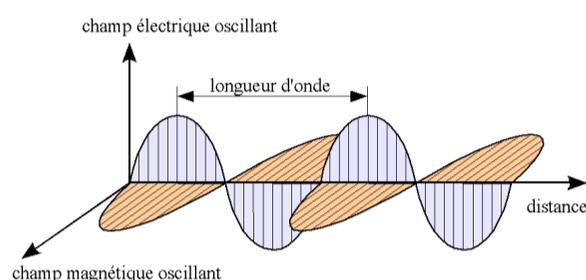


Cette manipulation introduit la spectroscopie et montre un exemple de son application pour l'exploration de l'infiniment grand et de ses constituants. L'expérience consiste en la création de son propre spectromètre à l'aide de matériel facile d'accès avant d'analyser le spectre obtenu par la désexcitation de certains constituants de sels (ici, des atomes).



LE POINT THÉORIE

Notre analyse par spectroscopie visible implique des ondes électromagnétiques. Ces ondes sont constituées d'un champ électrique oscillant perpendiculaire à un champ magnétique oscillant.



La longueur d'onde (λ) et la fréquence (ν) de ces rayonnements sont reliées par la formule $c = \lambda \cdot \nu$ où c est la vitesse de la lumière ($299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

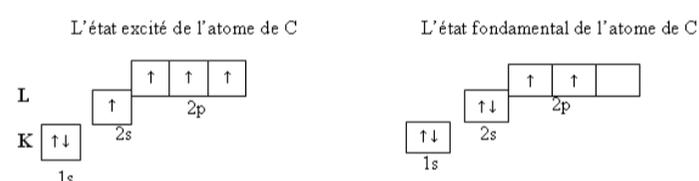
Chaque onde électromagnétique possède aussi une énergie propre que l'on calcule selon :

$$E = h \cdot \nu \text{ où } h \text{ est la constante de Planck } (6,626 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}).$$

Figure 1 : représentation d'une onde électromagnétique

Les ondes électromagnétiques peuvent couvrir une large gamme de longueurs d'onde. Le domaine du visible qui nous intéresse s'étend de 455 à 780 nm.

Notre analyse demande aussi une interaction avec la matière. Celle-ci se compose d'atomes et de molécules. Eux-mêmes sont constitués d'un set de noyaux chargés positivement autour desquels gravitent des électrons. Ceux-ci ne gravitent pas de manière aléatoire mais sont disposés selon certaines règles dans ce qu'on appelle des orbitales.



Une certaine disposition (configuration) des électrons dans les orbitales est appelé un état électronique. A chaque état i correspond une énergie E_i . Nous nommons l'état électronique de plus basse énergie « l'état fondamental » tandis que les autres états sont dits « excités ».

Figure 2 : représentation d'états électroniques de l'atome de carbone

Ainsi, l'absorption se déroule lorsqu'une onde électromagnétique de la bonne énergie (la différence d'énergie entre deux états) est absorbée par un atome (ou une molécule) afin qu'il passe à un état électronique de plus haute énergie. Une émission apparaît lorsqu'un atome (ou une molécule) repasse à un état électronique de plus basse énergie en dégageant dès lors une onde électromagnétique véhiculant la différence d'énergie entre les deux états impliqués.

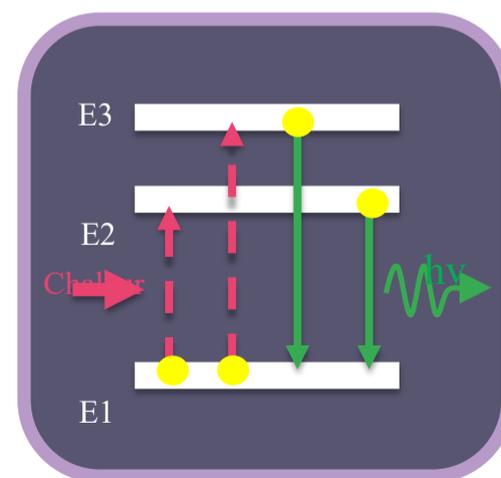


Figure 3 : émission de rayonnement électromagnétique : représentation schématique

LE POINT PRATIQUE

Cette expérience est avant tout une introduction à l'analyse de sels (chlorure de strontium, sulfate de cuivre et chlorure de lithium) par une méthode appelée « spectroscopie d'émission atomique ». L'objectif est donc de montrer une manière d'identifier ces derniers, par exemple dans le cadre d'une analyse de roches sur Mars. Ces sels contiennent des métaux qui se trouveront sous forme d'ions par dissolution dans de l'éthanol. Cet éthanol sera brûlé et l'énergie ainsi apportée permet d'exciter les atomes en les faisant monter vers un état électronique de plus haute énergie. Le repassage à un état électronique de plus basse énergie (comme l'état fondamental) s'effectue par la suite via l'émission d'une onde électromagnétique.

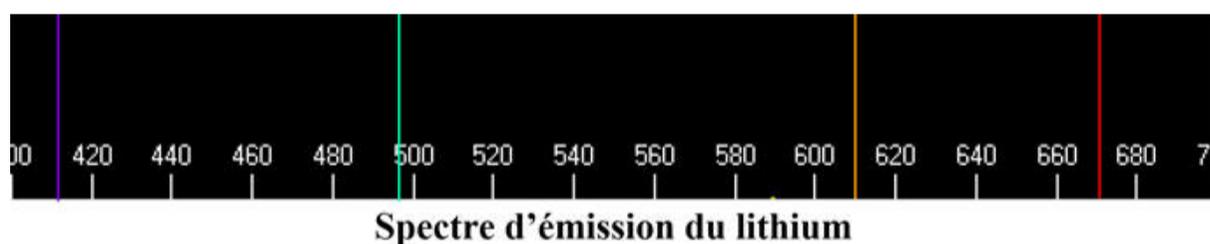
Afin de pouvoir distinguer les différentes longueurs d'onde émises par les sels, nous avons recours à un séparateur de longueur d'onde. Pour cette manipulation, il s'agit d'un disque compact, soit un réseau. Celui-ci est placé dans une boîte de céréales, en face d'une fente qui sert à focaliser au maximum la lumière de la source (sels chauffés) sur le réseau. On minimise également la lumière environnante non émise par le sel. Par ailleurs, en absence de fente, la lumière pourrait se diriger vers le réseau selon trop d'angles, ce qui compliquerait le spectre à cause d'interférences.

En chaque point du réseau, la lumière est diffractée selon un angle qui dépend de la longueur d'onde et de l'angle du rayonnement incident par rapport au disque. Cela est dû au fait qu'il faut que les ondes diffractées sur le réseau interfèrent de manière constructive. Ceci est possible lorsque la différence de chemin parcouru entre les rayons est égale à un multiple de la longueur d'onde. Ainsi, les ondes restent en phases.

Ainsi, en chaque point du réseau, il existe une seule longueur d'onde qui sera envoyée vers l'observateur. Puisque la lumière impacte le réseau selon des angles différents, les longueurs d'onde des rayons diffractés en chaque point du disque en direction de l'observateur sont différentes. Par exemple, pour un premier point du disque, le rouge est envoyé selon un angle qui permet à l'observateur de voir cette couleur, mais pour un autre point, l'angle pour le rouge n'est plus en direction de l'oeil, mais il l'est pour une autre couleur, etc... C'est ainsi que l'observateur arrive à voir des couleurs différentes pour chaque point du disque, ce qui apparaîtra comme un spectre d'émission. Celui-ci est caractéristique à l'atome analysé et permet son identification.

Par exemple si nous analysons le lithium à l'aide du montage expérimental décrit en annexe, une raie jaune ainsi qu'une raie rouge apparaissent. Cela correspond bien à ce qui est décrit sur le spectre théorique du lithium ci-dessous :

Figure 4 :



Cependant, nous ne parvenons pas à observer la raie verte et violette attendues respectivement à environ 490 et 410 nm. En effet, l'intensité des différentes raies varie selon la probabilité de la transition électronique correspondante (ici, cette probabilité est faible). On remarque aussi que la couleur de la flamme d'émission du chlorure de lithium à l'œil nu est dans le rose. Cela est tout simplement dû au fait que les raies observées se mélangent et que leur intensité est différente, donnant ainsi cette couleur particulière de notre sel.

Protocole :

Matériel et réactifs :

1. Sels :
 - Chlorure de strontium (rouge)
 - Sulfate de cuivre (vert)
 - Chlorure de lithium (rose)
2. Verres de montres (de préférence en pyrex)
3. Éthanol à brûler
4. Allumettes
5. Boîte de céréales
6. Disque compact
7. Papier collant, ciseaux
8. Spatule

Remarque :

Pour une meilleure visibilité du spectre sur le disque, il est pratique d'utiliser un bec-bunsen/chalumeau comme source de chaleur sur laquelle sera vaporisée une solution aqueuse des différents sels dissous.

Fabrication du séparateur de longueur d'onde :

Découper 2 fentes selon un angle de 60° par rapport au sol de part et d'autre de la boîte de céréales et insérer le disque. Découper une ouverture au-dessus de ce disque. Cet espace servira à observer le spectre. Entailler une fine fente (1mm) pour laisser passer la lumière de la source à l'opposé du disque.

Préparation de l'expérience :

-  Travailler sous hotte
 -  Lors de l'utilisation du chalumeau : veiller à garder la flamme à une distance de sécurité par rapport à la boîte de céréales.
- Mettre un peu de sel à analyser à l'aide d'une spatule sur un verre de montre.
 - Recouvrir le sel avec de l'éthanol.
 - Mettre le feu à l'éthanol et observer les couleurs de la flamme.
 - Placer le chalumeau de sorte à faire apparaître le spectre de la flamme sur le disque.
 - Pulvériser la solution d'ion sur la flamme et observer les couleurs qui apparaissent sur le disque.

Références bibliographiques :

- Skoog, D. A., & West, D. M. (2015). *Chimie analytique*. De Boeck Supérieur.
- Jet propulsion institute, California Institute of Technology, *Educator Guide: Using Light to Study Planets*, consulté le 19 décembre 2021 sur <https://www.jpl.nasa.gov/edu/teach/activity/using-light-to-study-planets/>
- Jet propulsion institute, California Institute of Technology, *Educator Guide : Studying Rocks on Mars Using Light*, consulté le 19 décembre 2021 sur <https://www.jpl.nasa.gov/edu/teach/activity/studying-rocks-on-mars-using-light/>

Références bibliographiques : iconographie

- Figure 1 : Onde électromagnétique (2005). [Illustration]. Repéré à https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Onde_%C3%A9lectromagn%C3%A9tique.png?uselang=fr#filelinks. Wikimedia Commons.
- Figure 2 : Single electron orbitals. (2017). [Illustration]. Repéré à https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Single_electron_orbitals.jpg. Wikimedia Commons.
- Figure 4 : Chaumeton, G. *Spectre d'émission du lithium*. [Illustration]. Repéré à <https://guy-chaumeton.pagesperso-orange.fr/scphysiques18/2d13chc18.htm>